

# МНОГОКОНТУРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

Е.А. Кайда.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Кафедра «Радиоэлектроника», НТУ «ХПИ», ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина

Тел.: (057) 706-2599, E-mail: Kaida@aport.ru

**Annotation** – A method for controlling a compensating system using fuzzy logic is presented. A compensating system able to solve different problems: reactive power compensation, harmonic elimination. The system is based on a combination of a thyristor compensator and an active power filter. Some practical cases with Matlab-Simulink are presented to check the proposed control performance.

**Key words** – control method, reactive power, harmonic elimination, dynamic responses.

## ВВЕДЕНИЕ

При проектировании фильтрокомпенсирующих устройств, ориентированных на одновременное решение задач компенсации реактивной мощности и улучшения гармонического состава тока питающей сети, возникает необходимость разработки систем управления и регулирования, применение которых обеспечивало бы выполнение требований к качеству электрической энергии питающей сети, быстрдействию по управлению, качеству стабилизации выбранных параметров при различного рода возмущениях.

Фильтрокомпенсирующее устройство (ФКУ), описанное в [1], изображено на рис. 1 и реализовано на основе управляемого выпрямителя В на полностью управляемых тиристорах и силового активного фильтра (САФ) - инвертора напряжения И на IGBT транзисторах.

## ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ МНОГОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Система управления и регулирования фильтрокомпенсирующим устройством на рис. 1 имеет канал управления инвертором напряжения и канал управления выпрямителем и обеспечивает

максимальный коэффициент полезного действия ФКУ при поддержании допустимого уровня средней реактивной мощности питающей сети.

Канал управления выпрямителем представляет собой контур регулирования уровня средней реактивной мощности, построенный на основе современных теорий мощности, что позволяет обеспечить поддержание близко к нулю уровня средней реактивной мощности питающей сети за счет уменьшения до нуля сигнала мощности основной частоты в переменных составляющих активной и реактивной мощности.

При построении системы управления и регулирования следует учитывать обратно пропорциональный характер зависимости остаточного уровня высших гармоник тока сети от напряжения на емкостном накопителе Н инвертора напряжения. Результатом учета этой зависимости является введение в описанную структуру системы управления фильтрокомпенсирующим устройством дополнительного контура регулирования по уровню высших гармоник тока питающей сети, состоящего из задатчика допустимого уровня высших гармоник тока и измерителя текущего уровня высших гармоник тока в точке подключения компенсатора к питающей сети.

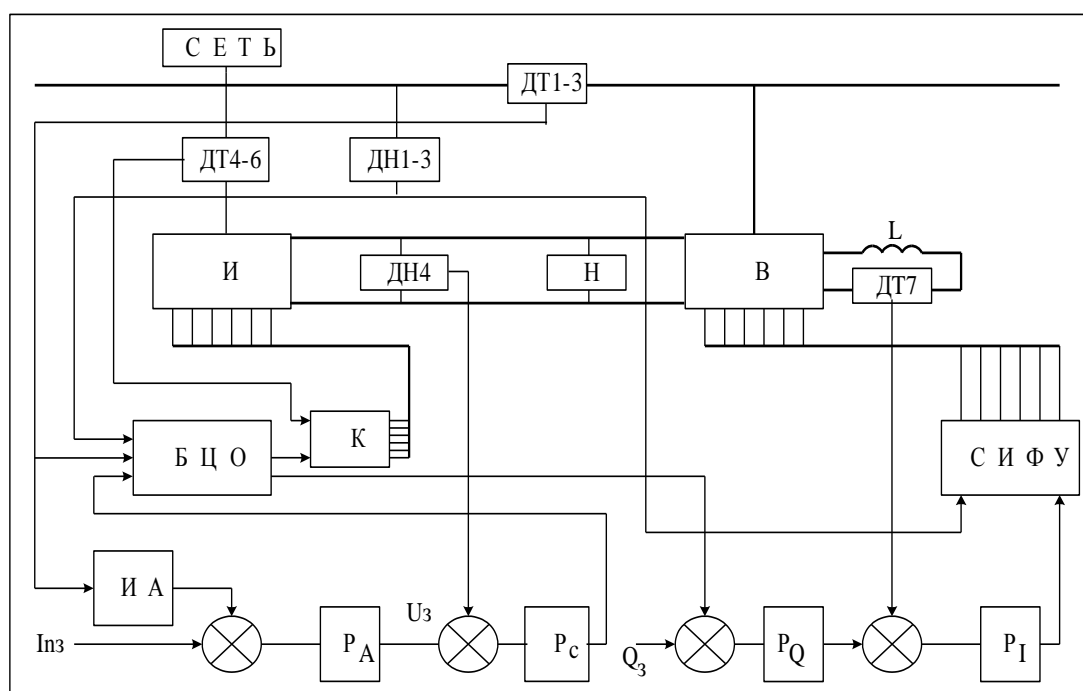


Рис.1

Указанный контур управляет уровнем напряжения на емкостном накопителе фильтрокомпенсирующего устройства.

С блока задания допустимой величины гармоники сигнал задания  $I_{пз}$  поступает на один из входов регулятора амплитуды выбранной гармоники  $P_a$ , на второй вход которого поступает сигнал пропорциональный амплитуде соответствующей гармоники с выхода измерителя амплитуд ИА. Выходной сигнал регулятора  $P_a$  подается на вход  $U_z$  узла сравнения, на второй вход которого подается сигнал с датчика напряжения на конденсаторе накопителя ДН4. Выходной сигнал второго регулятора  $P_c$  определяет требуемый уровень напряжения на конденсаторе инвертора напряжения. Таким образом обеспечивается поддержание напряжения на конденсаторе инвертора напряжения на уровне, необходимом для обеспечения допустимого уровня высших гармоник в токе питающей сети.

Многоконтурная система управления создает условия для построения универсального ФКУ, быстро адаптируемого под требования конкретного заказчика, при условии его программно-аппаратной реализации с использованием современных средств цифровой обработки.

Задача цифрового управления низкочастотным каналом успешно решается при условии прогнозирования регулируемых параметров [2].

Актуальным является решение задачи построения многоконтурной цифровой системы управления высокочастотным каналом.

#### РЕАЛИЗАЦИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ

Предлагается реализовать в виде системы нечеткого вывода контур регулирования уровня высших гармоник тока питающей сети, определяющий отклонение от заданного значения выбранного параметра и приводящую его к установленным нормам.

Для определения входных и выходных параметров системы, эмпирические знания о рассматриваемом контуре регулирования представим в форме следующих эвристических правил:

- Если уровень напряжения на накопительном конденсаторе инвертора напряжения снижается относительно нормального установочного значения, то уровень гармоник питающей сети увеличивается.
- Если уровень напряжения на накопительном конденсаторе инвертора напряжения увеличивается относительно нормального установочного значения, то уровень гармоник питающей сети снижается, однако при этом существует ограничение по напряжению на конденсаторе инвертора.
- Если уровень напряжения на накопительном конденсаторе инвертора напряжения равен нормальному установочному значению, то уровень гармоник питающей сети соответствует норме.

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода рассматриваются 2 нечеткие

лингвистические переменные (ЛП): «уровень высших гармоник питающей сети» -  $k_i$  и «уровень напряжения на накопительном конденсаторе инвертора напряжения» -  $U_c$ , а в качестве выходного параметра – нечеткая ЛП «управляющий сигнал по напряжению на накопительном конденсаторе инвертора напряжения» -  $\delta U_c$ .

В качестве терм-множества первой ЛП  $k_i$  используется множество  $T_1 = \{\text{«меньше нормы»}, \text{«норма»}, \text{«больше нормы»}\}$ , а в качестве терм-множества второй ЛП  $U_c$  используется множество  $T_2 = \{\text{«минимум»}, \text{«норма»}, \text{«максимум»}\}$ . Терм-множество выходной ЛП  $\delta U_c$  представляет собой множество  $T_3 = \{\text{«ниже среднего»}, \text{«среднее»}, \text{«выше среднего»}\}$ .

При этом, нормальный уровень высших гармоник питающей сети принимается 5%, а установленная норма уровня напряжения на накопительном конденсаторе инвертора напряжения – 2кВ. Что касается термов выходной переменной  $\delta U_c$ , за средний уровень управляющего сигнала принимается значение в относительных единицах равное 2.5.

С учетом сделанных уточнений, при использовании системы нечеткого вывода типа Мамдани, рассмотренная информация может быть представлена в форме трех нечетких правил:

**ПРАВИЛО\_1:** Если «уровень высших гармоник питающей сети больше нормы» и «уровень напряжения на накопительном конденсаторе инвертора напряжения минимален», то «управляющий сигнал по напряжению на накопительном конденсаторе инвертора напряжения больше среднего».

**ПРАВИЛО\_2:** Если «уровень высших гармоник питающей сети меньше нормы» и «уровень напряжения на накопительном конденсаторе инвертора напряжения максимален», то «управляющий сигнал по напряжению на накопительном конденсаторе инвертора напряжения ниже среднего».

**ПРАВИЛО\_3:** Если «уровень высших гармоник питающей сети соответствует норме» и «уровень напряжения на накопительном конденсаторе инвертора напряжения нормальный», то «управляющий сигнал по напряжению на накопительном конденсаторе инвертора напряжения средний».

На рис. 2 представлены термы и функции принадлежности для входных и выходной переменных системы нечеткого вывода в редакторе FIS Membership Function.

Поскольку процесс нечеткого моделирования предполагает анализ результатов нечеткого вывода при различных значениях входных переменных, с целью установления адекватности разработанной нечеткой модели следует рассмотреть различные случаи изменения входных переменных. На рис. 3 показано изменение значения выходной переменной при просмотре правил нечеткого вывода после изменения входных переменных  $k_i$  и  $U_c$  на [0.03; 2300]. В этом случае разработанная система

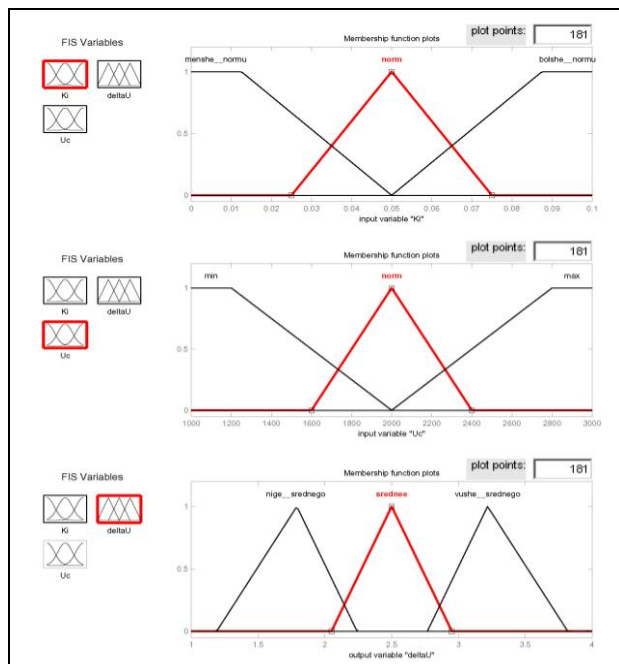


Рис. 2

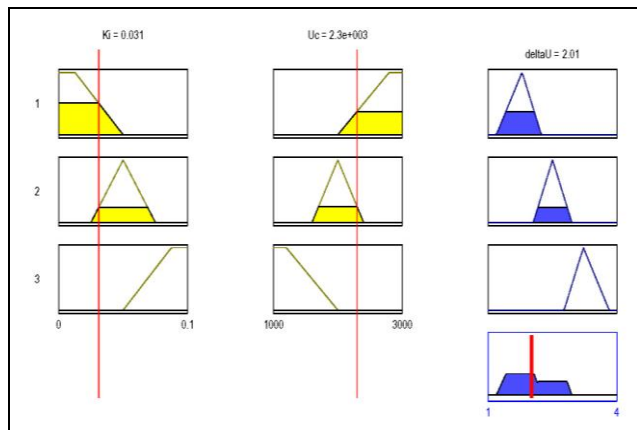


Рис. 3

нечеткого вывода выдает управляющий сигнал по напряжению на накопительном конденсаторе инвертора напряжения равный 2.01, что впоследствии приводит к уменьшению напряжению на накопительном конденсаторе до установленного нормального уровня.

Предлагаемая система может быть модифицирована с учётом добавления новых правил или изменения существующих, а также изменения параметров функций принадлежности входных и выходных переменных. Более тонкая настройка модели может быть связана с увеличением количества термов для каждой из входных и выходных ЛП, что, в свою очередь, приведёт к увеличению количества правил в системе нечёткого вывода и общему усложнению модели.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

На рис. 4 приведены 1- ая, 5- ая, 7- ая и 11- ая гармоники тока, генерируемые формирователем в питающую сеть, без подключения ФКУ (до момента времени  $t_1$ ) и с подключением ФКУ (после момента времени  $t_1$ ). При подключении ФКУ амплитуда 5- ой

гармоники снизилась на 60 %, 7- ой и 11- ой – на 50 %.

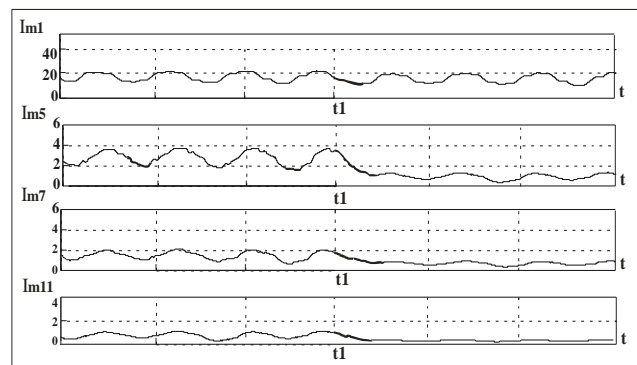


Рис. 4

На рис. 5а приведена диаграмма изменения напряжения на конденсаторе инвертора, диаграмма на рис.5б соответствует изменению амплитуды седьмой гармоники тока питающей сети. Управление уровнем амплитуды седьмой гармоники тока питающей сети, а так же приведение ее к установленному уровню, в данном случае это 5%, происходит при изменении напряжения на конденсаторе инвертора за счет управляющих сигналов на выходе дополнительного контура регулирования.

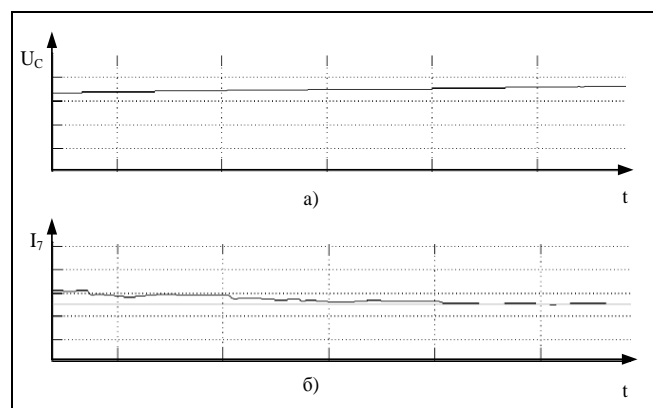


Рис. 5

Диаграмма на рис. 6 объясняет то, что применение дополнительного контура нечеткого регулирования уровня отдельно взятой гармоники позволяет обеспечить постоянство выбранного параметра независимо от изменения параметров нагрузки, а именно, при двукратном увеличении средней реактивной мощности питающей сети в момент времени  $t_1$ , уровень седьмой гармоники остается неизменным.

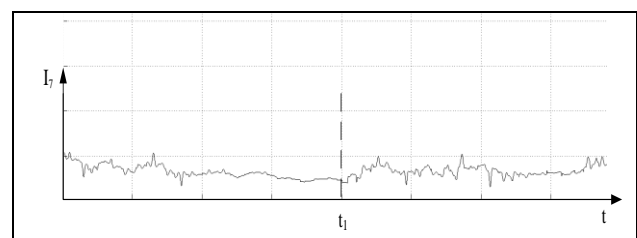


Рис. 6

позволяет обеспечить постоянство выбранного параметра независимо от изменения параметров нагрузки, что способствует улучшению гармонического состава тока питающей сети.



Результаты моделирования подтвердили целесообразность использования фильтрокомпенсирующего устройства с дополнительным контуром нечеткого регулирования уровня высших гармоник питающей сети при решении задач улучшения электромагнитной совместимости нелинейных нагрузок с питающей сетью, улучшения качества потребляемой электроэнергии, уменьшения потерь и увеличения надежности работы преобразователя.

[1] Домнин И.Ф., Жемеров Г.Г., Сокол Е.И. Перспективы применения полупроводниковых компенсаторов реактивной мощности в сетях электроснабжения промышленных предприятий // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність».- 2002.- Ч.2.- С. 37.

[2] Домнин И.Ф. Система управления фильтрокомпенсирующим устройством. Технічна електродинаміка, 2004, № 4. С. 25